La prospective territoriale, un outil de réflexion sur la gestion de l'eau du bassin de la Durance en 2050

R. SAMIE[1], C. MONTEIL[1], Y. ARAMA[2], H. BOUSCASSE[2] & E. SAUQUET[3]

1 Electricité de France - Division Recherche & Développement – LNHE, 6 quai Watier, F-78401 Chatou Cedex, France
rene.samie@edf.fr

2 Bureau d'étude ACTeon, 9 avenue Saint Roch, F-38000 Grenoble, France

3 Irstea, Hydrology-Hydraulics Research Unit, 5 rue de la Doua CS70077, F-69626 Villeurbanne Cedex, France

Résumé La démarche couplant modélisation de l'anthropo-hydrosystème et construction de scénarios de prospective associant acteurs locaux et experts soulève de nombreuses difficultés mais permet d'apporter un éclairage sur les défis à long terme pour une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau des territoires dans un contexte de fortes incertitudes tant en ce qui concerne les effets du changement climatique sur les eaux de surface, que l'évolution des besoins en eau sous l'effet de la pression démographique et du développement socio-économique. Cette démarche est appliquée dans le cadre du projet national de recherche R2D2-2050 (Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050) dont l'objet est de pouvoir quantifier les déséquilibres potentiels futurs du régime hydrologique du bassin de la Durance afin d'initier, par la suite, une réflexion sur les politiques possibles de gestion de l'eau permettant de répondre aux enjeux de développement et d'aménagement tout en préservant le capital naturel du territoire.

Mots clés Durance; modélisation de la gestion de l'eau; anthropo-hydrosystème; changement climatique; prospective territoriale; incertitudes; adaptation

The territorial foresight, a reflection framework for water management planning in the Durance River basin in 2050

Abstract The integrated approach combining water management models and future-oriented scenarios involving local experts and stakeholders raises numerous difficulties. However, this approach may shed light on long-term challenges to reaching the sustainable water management, especially in the context of a highly uncertain future related to climate change impact, population growth as well as economic development. This approach is applied within the French national research project R2D2-2050 (Risk, water resources and sustainable development within the Durance River basin in 2050) to assess both future water availability and the risk of unsatisfied water demands. The results of the R2D2-2050 project may help decision makers to define possible adaptation strategies taking into account economic development and water planning as well as the natural capital.

Key words Durance River; water management modelling; heavily modified river; climate change; territorial foresight; uncertainties; adaptation

LE BASSIN DE LA DURANCE

Principales caractéristiques du territoire

Le territoire étudié couvre le bassin versant de la Durance, soit une superficie de 14 000 km^2. Principale rivière du sud est de la France, la Durance prend naissance dans les Alpes du sud et traverse la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur avant de rejoindre la rive gauche du Rhône en aval d'Avignon après un périple de 302 km. Son régime hydrologique naturel est de type pluvio-nival avec une influence méditerranéenne de plus en plus marquée dans son cours inférieur.

Dans sa partie amont, le bassin versant est un territoire de montagne constitué de hauts reliefs. L'espace est à dominante rurale. La densité de population est très faible. Le tourisme, important en hiver, et l'agriculture, orientée vers l'élevage et les productions associées, sont les principales activités économiques. Les paysages sont bien préservés et présentent un intérêt patrimonial fort. La partie aval est composée de plaines alluviales bordées par des collines et terrasses qui s'élargissent progressivement à l'approche de la confluence avec le Rhône. La densité de population augmente fortement alors que les pôles urbains et les espaces péri-urbanisés se multiplient. Les activités économiques structurantes sont l'agriculture intensive fortement irriguée, les services présentiels et l'énergie (production d'hydroélectricité et recherche dans le domaine du nucléaire).

La Durance est aménagée de longue date. Les premiers canaux sont très anciens et datent du XII^e siècle. Les eaux dérivées servaient à l'entraînement des moulins à farine et à huile. Par la suite, celles-ci ont été utilisées pour l'arrosage des cultures et l'alimentation en eau potable.

Copyright © 2014 IAHS Press

Dans le même temps, le réseau de canaux s'est progressivement étendu permettant la desserte en eau des bassins déficitaires du littoral et de la plaine du bas Rhône. Au début du XX^{e} siècle débute l'exploitation de la "houille blanche" qui permet d'alimenter en électricité les villes de la région et les industries locales.

Toutefois, le capital hydraulique du bassin de la Durance à l'état naturel, ne permet pas de satisfaire l'ensemble des besoins. Les fortes demandes en eau d'irrigation en été pâtissent des très faibles débits de la période d'étiage estival alors que la demande en électricité est maximale en hiver au moment des basses eaux liées à la rétention nivale des cours d'eau alpins et à la sécheresse relative de l'hiver méditerranéen.

La phase d'aménagement intégrale de la Durance débute au milieu du XXe siècle à l'initiative de l'Etat avec pour objectif d'optimiser au mieux le potentiel hydraulique du bassin, d'une part, pour assurer l'alimentation en électricité d'une région très déficitaire en énergie et, d'autre part, pour sécuriser l'irrigation en période d'étiage et l'alimentation en eau potable des villes du littoral. Aujourd'hui, la "chaîne Durance" comprend 32 centrales hydrauliques dont 19 sont situées à l'aval de deux grands barrages réservoirs (Serre-Ponçon et Sainte-Croix) qui permettent de pallier les irrégularités du débit en accumulant les eaux de fonte nivale afin de les restituer en périodes d'étiage. La construction de ce complexe hydroélectrique a permis la valorisation et le développement socio-économique du bassin et plus largement de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur.

Les enjeux de gestion de la ressource en eau de la Durance

En dehors des usages "historiques" évoqués plus haut, d'autres répondant à de nouvelles attentes sociétales ont émergé comme les loisirs liés à l'eau (les retenues du bassin constituent des pôles d'attraction importants pour le tourisme régional) ou l'usage écologique pour la préservation des milieux. Aujourd'hui, la sûreté d'approvisionnement en eau des usages, associée aux impératifs de sécurité et de protection contre le risque inondation imposent de fortes contraintes pour la gestion de l'eau. L'accroissement probable des demandes en eau, sous la pression conjuguée de la poussée démographique et de la valorisation économique de la région, ainsi qu'une moindre disponibilité de la ressource, du fait des effets des évolutions climatiques rendent nécessaires le lancement d'une réflexion sur de nouvelles modalités de gestion de la ressource permettant de répondre aux enjeux de demain.

OBJECTIFS DU PROJET ET METHODOLOGIE ADOPTEE

L'objectif du projet R2D2 2050 (Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050) est d'analyser, sur le bassin de la Durance et les territoires desservis par les canaux et à l'horizon 2050, les impacts d'évolutions climatiques et anthropiques sur l'équilibre offre / demande en eau et de proposer *in fine* différentes stratégies d'adaptation pour une gestion équilibrée, solidaire et durable de la ressource.

La méthodologie adoptée (Fig. 1) combine modélisation de l'anthropo-hydrosystème et construction de scénarios à partir d'ateliers participatifs. Elle comporte trois parties fortement interconnectées bien qu'ayant des finalités propres:

(a) connaissance de l'évolution du régime hydrologique naturel des cours d'eau du bassin versant et de la disponibilité de la ressource sous scénarios de changement climatique,
(b) connaissance des demandes en eau futures sur la base d'un scénario tendanciel et de scénarios contrastés d'évolution des usages, ces derniers étant co-construits avec les acteurs locaux,
(c) réflexion sur les stratégies acceptables d'adaptation de la gestion permettant de minimiser, sur le long terme, les répercussions socio-économiques pour les utilisateurs, de risques de non-satisfaction de leurs besoins en eau, tout en préservant le capital environnemental.

Ces deux dernières parties composent les deux temps forts d'une démarche de prospective comme outil d'aide "à la décision".

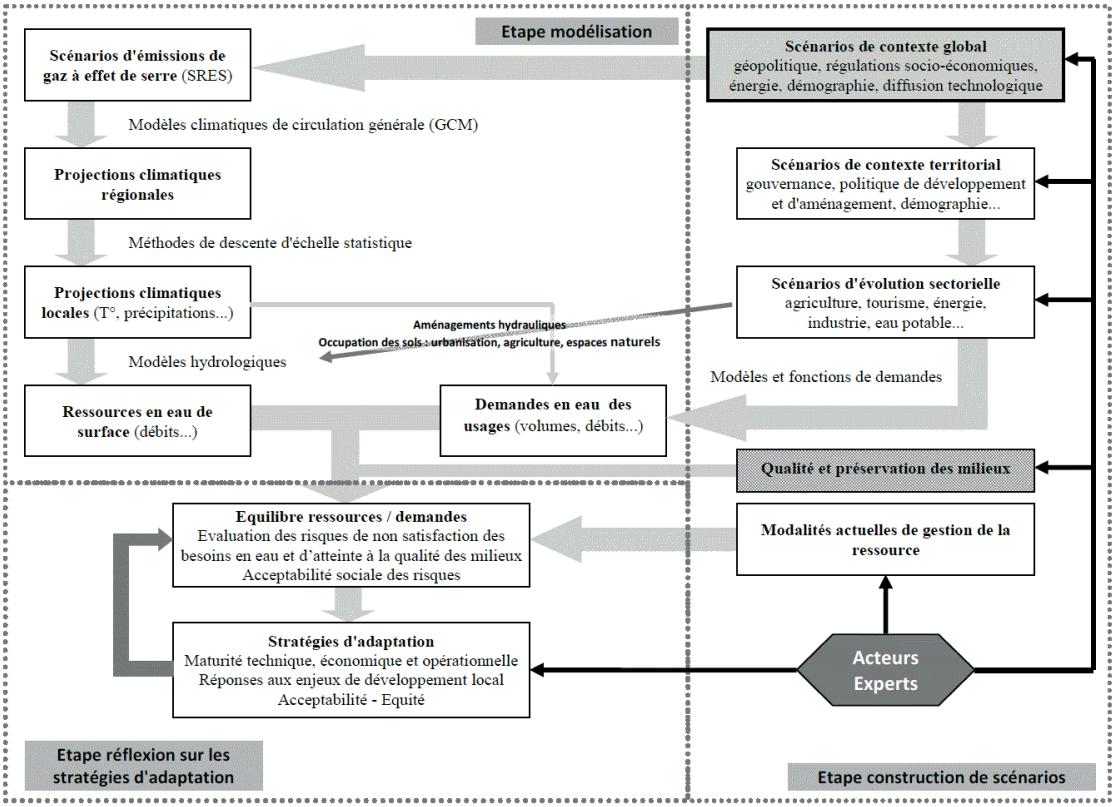


Fig. 1 Schéma explicatif de l'approche adoptée dans le projet R2D2-2050.

Le domaine d'étude a été découpé en six territoires locaux afin de pouvoir mieux appréhender les impacts sur les ressources en eau et les milieux aquatiques, identifier les zones plus vulnérables et les sources potentielles de conflits et enfin envisager des leviers d'action différentiés selon la disponibilité de la ressource et le niveau de pression anthropique. Les résultats présentés concernent la Durance à Cadarache qui draine 11 728 km^2, dernier point de contrôle des modélisations avant la confluence avec le Rhône.

CONNAISSANCE DE L'EVOLUTION DE LA RESSOURCE ET DE SA DISPONIBILITE

Cette partie met en œuvre un ensemble de modèles climatiques, hydrologiques, de besoin en eau des cultures et de fonctions de demande en eau potable et industrielle. Une interrogation majeure est la caractérisation des incertitudes qui apparaissent à tous les niveaux de la chaîne de modélisation, depuis les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre jusqu'à la confrontation entre la ressource disponible et les demandes en eau. Dans le cadre du projet, l'approche multi-modèles qui consiste à effectuer les mêmes simulations à l'aide de modèles utilisant des approches différentes est utilisée. La mesure de la dispersion de la valeur de la variable de sortie obtenue par les modèles permet une évaluation de la robustesse du résultat ou à l'inverse de son caractère incertain. Accompagnée de la dispersion inter-modèle, la moyenne des projections donne une indication plus ou moins fiable de l'évolution de la variable considérée.

La modélisation comprend deux phases:

(1) La première vise à reconstituer les écoulements naturels à l'aide de modèles hydrologiques et de demandes en eau, sur la base du climat observé. Sur un bassin fortement aménagé, comme celui de la Durance, le débit des cours d'eau est fonction des processus naturels mais aussi des pressions anthropiques telles que les prélèvements ou la présence de retenues d'eau. Il est donc nécessaire de s'affranchir de ces influences afin de dissocier les impacts du changement climatique des impacts d'origine anthropique. Aussi, un effort conséquent a porté sur la caractérisation des prélèvements et sur la compréhension des principes de gestion des réserves

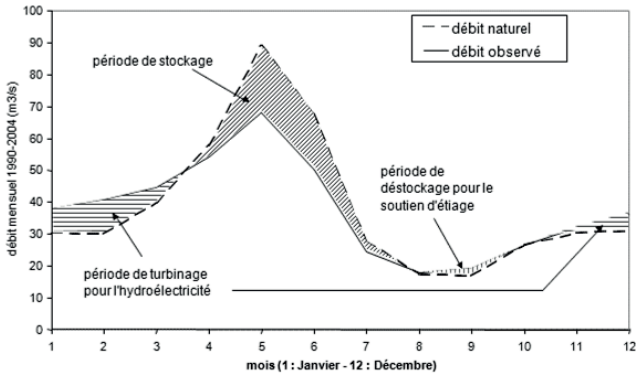


Fig. 2 Influence de la gestion des réserves d'eau sur le régime hydrologique naturel.

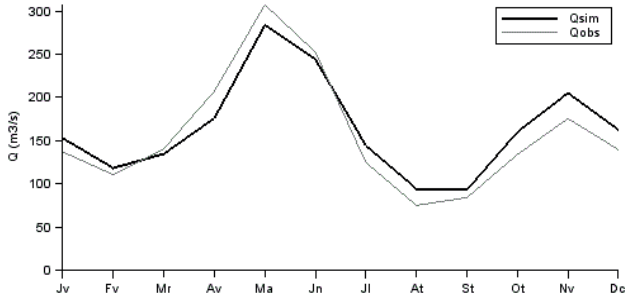


Fig. 3 Débits mensuels moyens observés (Qobs) et naturels (Qsim) à Cadarache.

hydroélectriques en fonction, d'une part, des impératifs de production d'électricité et, d'autre part, des contraintes environnementales, touristiques et d'approvisionnement en eau des usages. Ce travail a permis de reproduire de façon correcte le fonctionnement des aménagements et de mieux appréhender l'incidence des épisodes de stockage / déstockage sur les débits (Fig. 2). La Fig. 3 compare les débits mensuels moyens observés et désinfluencés sur la période de référence 1980–2009 obtenus à Cadarache par le modèle CEQUAU.

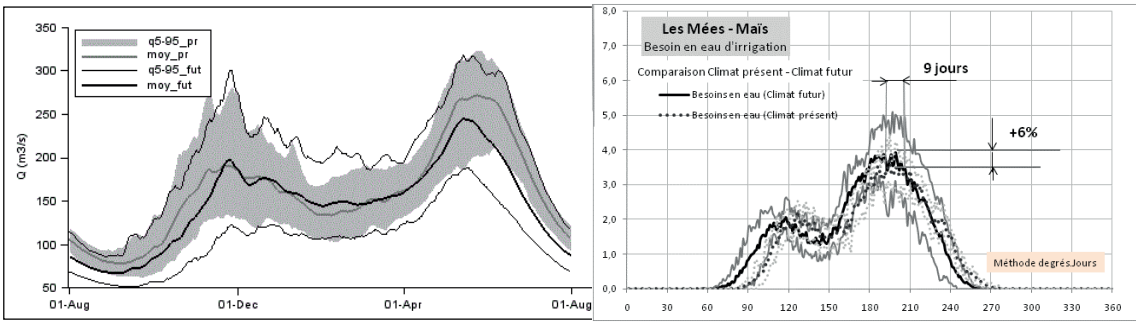
En dehors de la reconstitution des débits naturels, la simulation en temps présent permet de caler et de valider les modèles hydrologiques et de demandes en eau en s'appuyant sur les données observées. Ces modèles paramétrés sont ensuite utilisés pour les simulations sous changement climatique en supposant que les relations liant climat présent et variables d'intérêt restent valides sous climat futur et que les biais induits par les modélisations seront eux aussi identiques. Pour chaque variable de sortie, la différence observée entre le résultat issu de la chaîne de modélisation "temps présent" et la chaîne de modélisation "temps futur" permet d'estimer l'incidence des changements.

(2) La seconde phase consiste à produire les données climatiques futures au pas de temps et à l'échelle spatiale adéquats qui serviront de données d'entrée aux modèles hydrologiques et de besoin en eau des cultures. Pour "cadrer" les incertitudes, des projections du scénario d'émission A1B issues du projet ENSEMBLE (van der Linden *et al.*, 2009) ont été utilisées. Trois méthodes de descentes d'échelle statistique (une à base d'analogie, une autre basée sur les types de temps, une dernière à base de régression) permettant d'obtenir des projections aux échelles spatiales adaptées ont été appliquées aux sorties de ces modèles. Cette désagrégation vers des échelles spatiales fines est d'autant plus nécessaire que le climat et la topographie locale ont, dans le cas du bassin de la Durance, un rôle majeur sur l'hydrologie.

Concernant le climat, les projections montrent que l'augmentation moyenne des températures sur le domaine alimenté en eau de la Durance entre les périodes 1980–2009 et 2035–2064 serait de 11%. Cette augmentation serait particulièrement sensible en hiver, 22% et plus faible en été, 9%. Les précipitations devraient diminuer de 10% avec une baisse marquée de 17% en été. Cette baisse des précipitations associée à des températures plus élevées en hiver devrait

entraîner une diminution de l'onde de fonte nivale et une réduction des débits d'étiage estival. Sept modèles hydrologiques ont été appliqués pour simuler les débits naturels et les impacts sur les ressources en eau. A titre d'illustration, l'un d'entre eux, CEQUEAU (Hendrickx & Sauquet, 2013), projette une diminution des écoulements annuels de la Durance à Cadarache de l'ordre de 8% entre la période de référence 1980–2009 et la période future 2035–2064 (Fig. 4(a)). Toutefois, l'évolution annuelle masque des effets saisonniers plus contrastés. Ainsi, le débit moyen baisserait de 16% en été et en automne et d'un peu moins de 2% en hiver et au printemps. Le pic de fonte nivale apparaîtrait 10 jours plus tôt qu'actuellement avec un débit maximal en baisse de 18%.

Les évolutions climatiques ont aussi des impacts directs sur les usages de l'eau, indépendamment de toute évolution du contexte socio-économique. La hausse des températures et la diminution des précipitations peuvent ainsi avoir une incidence significative dans le cas de l'irrigation de par les processus d'évapotranspiration des cultures. Le modèle MODIC (Braud *et al*., 2013) de besoins / demandes en eau des cultures donne pour le maïs, une hausse moyenne des besoins en eau de 6% entre les deux périodes. Le besoin journalier au maximum de développement de la culture augmenterait d'environ 6% et serait avancé d'une dizaine de jours (Fig. 4(b)).



(a) (b)

Fig. 4 Résultats de simulations temps présent et futur: débits naturels de la Durance à Cadarache (a) et besoins en eau d'irrigation du maïs (b) (moyenne d'ensemble en trait épais, q5 et q95 désignent les quantiles à 5 et 95%).

CONNAISSANCE DES DEMANDES FUTURES – DEMARCHE PROSPECTIVE

La détermination des évolutions possibles des demandes en eau s'appuie sur une démarche de prospective territoriale. Cette démarche est d'autant plus importante que la finalité de l'étude est d'initier une réflexion sur des stratégies d'adaptation visant à limiter les conséquences de pénuries d'eau sur le développement économique et social des territoires et sur la qualité des milieux.

La démarche prospective obéit à des bases conceptuelles et méthodologiques rigoureuses (de Jouvenel, 1999; Durance *et al*., 2007). Néanmoins, celle-ci a dû être adaptée à l'objectif recherché, aux moyens disponibles et au territoire étudié. La démarche retenue peut se résumer aux trois points importants suivants:

(a) elle est basée sur une approche systémique. Celle-ci considère les territoires comme des objets abstraits et permet d'envisager la zone d'étude dans sa complexité et sa globalité. L'importance est donnée à l'étude des interactions entre les différentes composantes du territoire (sous-systèmes économique, social, politique, environnemental, spatial…) mais aussi aux interdépendances existant entre le territoire considéré et son environnement (autres échelons territoriaux ou territoires limitrophes et tiers) ainsi qu'à la compréhension des dynamiques structurantes. Cette approche permet de construire une vision simplifiée d'un monde complexe pouvant être partagée par tous.

(b) elle s'appuie sur la méthode des scénarios. Deux types de scénarios ont été co-construits: un scénario dit "tendanciel" qui est l'évolution future compte tenu des tendances inscrites dans le

système actuel et quatre scénarios contrastés dits “extrêmes” permettant “d’encadrer” l’espace des avenirs possibles du territoire.

(c) elle est participative: la concertation entre experts et acteurs des territoires a été envisagée dès le début avec la tenue d’ateliers mobilisant un large panel d’acteurs, dans la définition même des objectifs du projet et des résultats attendus. Cette dimension qui fait appel à des savoirs différents permet un meilleur partage des connaissances et des informations, une clarification sur les choix et les hypothèses et rend transparent les incertitudes et les controverses. Elle légitime la démarche et favorise une vision partagée des enjeux futurs du territoire.

La démarche prospective utilisée comprend trois étapes: l’élaboration d’une base de connaissance, la construction des scénarios et la quantification des variables expliquant les demandes en eau.

(1) La base de connaissance intègre un diagnostic fondé de l’état actuel des territoires desservis en eau par le bassin de la Durance ainsi que la détermination des variables clés externes ou internes permettant de caractériser les évolutions en cours. Ces variables clés ont été regroupées (1) en variables de “contexte global”, variables influentes externes qui donnent “la couleur” de chacun des scénarios, (2) en variables de “contexte territorial”, variables qui font émerger des enjeux spécifiques au territoire, et (3) en “contexte sectoriel”, variables influencées qui expliquent l’évolution des activités utilisatrices de la ressource (Fig. 1). Du fait du peu de temps imparti aux ateliers participatifs, une liste de variables possibles et d’hypothèses ont été préparées *ex ante* par les experts du projet.

(2) Les scénarios ont été co-construits par les experts et les acteurs des territoires en s’appuyant sur des ateliers participatifs. Trois ateliers d’une journée étaient programmés sur trois territoires différents. L’objectif était d’engager une réflexion avec les acteurs locaux sur les variables explicatives des demandes en eau et les variables de contexte et sectoriels pouvant influer sur les activités utilisatrices de la ressource avant d’ébaucher des “story lines”. Dans la pratique, les acteurs présents ont éprouvé des difficultés à réfléchir sur des variables “globales” et même “territoriales”, réflexion qui, lors du premier atelier, était programmée dès le début de la journée en séance plénière. Ceux-ci se sont nettement plus investis dans le travail sur les variables sectorielles qui avait lieu l’après midi en petits groupes. Pour les deux ateliers suivants, l’équipe projet a décidé d’inverser le programme. La réflexion autour des variables globales et territoriales programmée dans l’après midi, a été simplifiée et mieux acceptée par les acteurs, sans doute parce qu’une partie de ces variables avaient déjà émergé des discussions sectorielles du matin. Globalement, par rapport aux éléments présentés par l’équipe projet, des variables et des hypothèses ont été légitimées alors que des hypothèses que les experts n’avaient pas osé faire sont sorties du lot. De même, les acteurs ont souvent mis en avant des spécificités propres à leur territoire que l’équipe projet n’avaient pas perçu. Sans surprise, les débats ont montré qu’il n’est pas toujours facile pour les participants de se détacher de leurs intérêts ou de leurs mandats et de remettre en cause les évolutions actuelles.

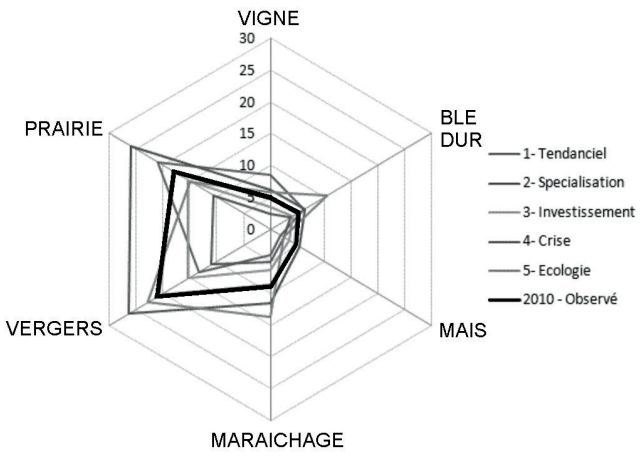


Fig. 5 Evolution des assolements selon le scénario.

(3) En dehors du scénario tendanciel, quatre scénarios ("investissement & divertissement", " crise durable", "écologique", et "pouvoir régional"), ont été rédigés sur la base d'hypothèses nuancées selon les sous-territoires portant sur quelques variables clés: niveau de gouvernance et prérogatives, occupation des sols et urbanisme, croissance économique, dynamique démographique, orientation en matière de développement socio-économique, de politique énergétique et environnementale, avec *in fine* des trajectoires contrastées pour les principales activités utilisatrices de la ressource (tourisme, AEP, industrie, agriculture et énergie).
Une fois les scénarios rédigés, il s'agit, à l'échelle des six territoires considérés, de quantifier les variables d'évolution des usages de l'eau (i.e. évolution des populations résidentielle et touristique, de l'occupation des sols, des assolements, des surfaces irriguées (Fig. 5), des rendements des réseaux d'adduction et de distribution d'eau, changement de mode d'irrigation, de source d'approvisionnement en eau, de technologies), puis d'estimer les demandes en eau à l'aide de modèles et de fonctions de demandes/prélèvements en eau.

SUITE ET PERSPECTIVES

Actuellement l'étude se poursuit. La confrontation de l'offre et de la demande et l'estimation des risques de non-satisfaction des usages vont débuter. De même, une première liste de propositions sur les stratégies possibles d'adaptation de la gestion de l'eau et de leurs impacts potentiels sur les usages et le territoire va être élaborée par l'équipe projet. Ces éléments seront présentés aux acteurs lors des prochains ateliers afin de servir de base de discussion autours de l'efficacité, de la sûreté d'approvisionnement, de la durabilité, des réponses aux enjeux de valorisation socio-économique des territoires mais aussi de l'acceptabilité et de l'équité, des solutions proposées.

REFERENCES

Braud, I., Tilmant, F., Samie, R. & Le Goff, I. (2013) Assessment of the SiSPAT SVAT Model for irrigation estimation in south-east France. *Procedia Environmental Sciences* 19, 747–756.

De Jouvenel, H. (1999) La démarche prospective. Un bref guide méthodologique. *Revue Futuribles* 247, mise à jour 2002.

Durance, Ph., Godet, M., Mirénowicz, Ph. & Pacini, V. (2007) La prospective territoriale, Pourquoi faire? Comment faire? *Les cahiers du LIPSOR* Série Recherche n°7(2007).

Hendrickx, F. & Sauquet, E. (2013) Impact of warming climate on water management for the Ariège River basin (France). *Hydrological Sciences Journal* 58(4), 1–17.

Van der Linden, P. & Mitchell, J. F. B. (2009) ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 pp.